

ANALISIS NERACA AIR UNTUK MENENTUKAN DAERAH TANGKAPAN AIR (DTA) SISTEM PINDUL, KECAMATAN KARANGMOJO, KABUPATEN GUNUNGKIDUL

Erna Puji Lestari
ernaa07@gmail.com

M. Widyastuti
m.widyastuti@geo.ugm.ac.id

ABSTRACT

One of the important parameters in the calculation of water balance is the size of catchment area where the area function as a recharge area. The purpose of this research are (1) to know the condition of input and output (water balance) on Pindul Catchment Area and (2) to estimate the size of Pindul Catchment Area based on water balance calculation. The method to determine the size of Pindul Catchment Area is done by water balance approach. The final result of the size of catchment area is validated using Todd's Nomogram. The result of this research is the amount of deficit months more than surplus months. Surplus conditions occur between January and March with values ranging from 70 mm to 170 mm, while deficit conditions occur between April to July with values ranging from -33 mm to -128 mm. The size of Pindul Catchment Area is 100 - 200 km² with estimate for 7 months measurement is 147,13 km².

Keywords: *Water Balance, Karst, Catchment Area, Underground River*

INTISARI

Salah satu parameter penting dalam perhitungan neraca air adalah luas daerah tangkapan air dimana daerah tersebut berfungsi sebagai daerah *recharge*. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui kondisi imbuhan dan keluaran (neraca air) pada DTA sistem SBT Pindul dan (2) memperkirakan luas DTA sistem SBT Pindul berdasarkan perhitungan neraca air. Metode dalam penentuan luas DTA Pindul dilakukan dengan pendekatan neraca air. Hasil akhir luas DTA kemudian dilakukan validasi menggunakan Nomogram Todd. Hasil dari penelitian ini adalah jumlah bulan defisit lebih banyak daripada bulan surplus. Kondisi surplus terjadi antara bulan Januari hingga Maret dengan nilai berkisar antara 70 mm hingga 170 mm, sedangkan kondisi defisit terjadi antara bulan April hingga Juli dengan nilai berkisar antara -33 mm hingga -128 mm. Luas DTA sistem SBT Pindul berkisar antara 100 - 200 km² dengan perkiraan luas selama 7 bulan pengukuran sebesar 147,13 km².

Kata Kunci: Neraca Air, Karst, Daerah Tangkapan Air (DTA), Sungai Bawah Tanah (SBT)

PENDAHULUAN

Kabupaten Gunungkidul merupakan wilayah dengan bentuklahan karst. Bentuklahan karst terbentuk akibat adanya proses pelarutan pada batugamping atau karbonat yang mudah larut oleh air permukaan maupun air hujan dan mempunyai porositas sekunder. Menurut Ford dan Williams (2007), karst merupakan area yang memiliki sistem hidrologi dan bentuklahan yang unik dimana terbentuk dari batuan yang mudah larut serta memiliki porositas sekunder yang berkembang dengan baik. Porositas sekunder batuan mengontrol perkembangan jaringan bawah tanah sehingga menyebabkan kondisi hidrologis permukaan cenderung kering dan gersang. Hal ini dipengaruhi oleh perkembangan porositas sekunder yang semakin intensif sehingga dapat memperbesar rekahan batuan yang ada. Akibatnya, air permukaan semakin mudah masuk melalui rekahan dan menyebabkan kekeringan di atas permukaan. Hilangnya air permukaan menuju sistem bawah permukaan menjadikan akuifer karst secara kuantitas memiliki potensi sumberdaya air yang cukup melimpah.

Efisiensi sumberdaya air dapat dikaji melalui perhitungan neraca air yang dapat digunakan untuk mengetahui gambaran pendistribusian air baik besarnya jumlah air masuk dan air keluar maupun cadangan air di suatu daerah tangkapan air. Salah satu parameter penting dalam perhitungan neraca air adalah luas daerah tangkapan air dimana daerah tersebut berfungsi sebagai daerah *recharge* yang perlu dikelola dan dijaga agar dapat menyuplai air yang cukup bagi kebutuhan penduduk di sekitarnya. Asdak (2002) mendefinisikan DTA sebagai suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumberdaya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam.

Kajian neraca air dalam menentukan DTA dilakukan pada sistem Sungai Bawah Tanah Pindul. Sungai Bawah Tanah (SBT) merupakan hasil bentukan proses pelarutan. Aliran sungai bawah tanah ini jauh lebih berkembang daripada aliran sungai permukaan pada bentuklahan karst. Sistem SBT Pindul melewati beberapa gua yang berada di Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul. Gua-gua tersebut meliputi Gua Asri, Gua Emas, Gua Greng, Gua Candi, Gua Sioyot, Gua Suruh, Gua Tanding dan Gua Pindul itu sendiri sebagai titik *outlet*nya. Luas DTA Pindul berdasarkan pendekatan topografi yaitu sebesar 15,44 km² dimana potensi sumberdaya air bawah

tanah pada sistem tersebut dimanfaatkan oleh penduduk sekitar untuk kebutuhan domestik, irigasi dan perikanan (Agniy, 2016).

Berdasarkan hal-hal tersebut, maka dapat dikaji kondisi neraca air pada DTA sistem SBT Pindul. Kondisi neraca air tersebut dapat digunakan untuk melakukan kajian efisiensi sumberdaya air melalui gambaran pendistribusian air baik imbuhan maupun keluaran dari daerah tangkapan air. Luas daerah tangkapan air menjadi parameter yang sangat penting untuk melakukan pengelolaan daerah *recharge* sebagai daerah penyuplai air bagi kebutuhan penduduk di sekitarnya. Melalui pendekatan neraca air, luas DTA sistem SBT Pindul dapat ditentukan berdasarkan kondisi atas permukaan dan bawah permukaan. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) mengetahui kondisi imbuhan dan keluaran (neraca air) pada DTA sistem SBT Pindul dan (2) memperkirakan luas DTA sistem SBT Pindul berdasarkan perhitungan neraca air.

METODE PENELITIAN

DTA Pindul dipilih karena mempunyai karakteristik wilayah yang unik serta memiliki sumberdaya air yang cukup melimpah. Sumberdaya air tersebut dimanfaatkan masyarakat sekitar sebagai sumber kebutuhan domestik, irigasi, perikanan, dan pariwisata. Selain itu, sejauh ini belum ada penelitian mengenai penentuan luas DTA Pindul melalui metode neraca air, sehingga penelitian ini sangat penting untuk dilakukan guna pengelolaan daerah *recharge* agar dapat menyuplai air yang cukup bagi kebutuhan masyarakat di sekitarnya.

Orientasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi awal di lapangan sebelum dilakukan penelitian. Pada tahap penelitian, dikumpulkan beberapa data yaitu data curah hujan, suhu udara, tinggi muka air (TMA), debit *outlet* sesaat, data luas DTA Pindul berdasarkan pendekatan topografi, dan data jenis vegetasi. Data curah hujan dan suhu udara didapatkan dari alat *logger* perekam kejadian hujan, sedangkan data tinggi muka air didapatkan dari *logger* TMA yang disetel dengan variasi waktu 15 menit selama 7 bulan pengukuran (Januari – Juli 2017). Debit *outlet* sesaat diukur menggunakan alat *current meter*.

Pengolahan data hujan dilakukan dengan menjumlahkan data hujan selama 7 bulan pengukuran. Data suhu udara diolah menjadi data evapotranspirasi potensial melalui metode Blaney-

Criddle dengan mempertimbangkan faktor meteorologi dan jenis vegetasi (berkaitan dengan koefisien tanaman). Data TMA diolah menjadi data debit aliran melalui metode *rating curve*, yang kemudian di konversi menjadi total volume air selama 7 bulan pengukuran.

Luas DTA dapat dihitung dengan menggunakan persamaan neraca air dengan rumus:

$$Q = P - E \pm \Delta S \dots \dots \dots (1)$$

$$V = R_o \times A \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

Q = Debit *runoff* (m³/s atau liter/s)

P = Presipitasi (mm/tahun)

E = Evapotranspirasi (mm/tahun)

ΔS = Perubahan simpanan (mm/tahun)

V = Total volume air (m³)

R_o = *Run off* (mm/tahun atau m/tahun)

A = Luas DTA (m² atau km²)

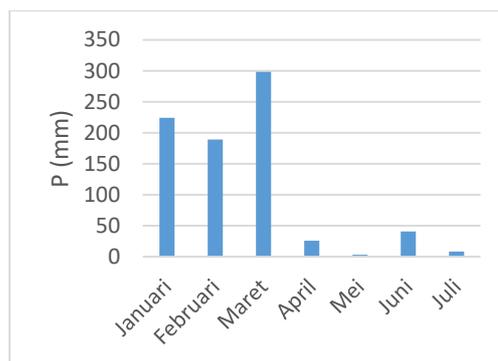
Luas DTA diperoleh dari hasil pembagian antara volume air dengan besarnya *run off* yang berasal dari total hujan efektif (P - E) selama 7 bulan. Pada dasarnya nilai P dan E tetap, sedangkan nilai Q akan diganti dengan volume air (V) selama 7 bulan pengukuran. Nilai dari ΔS diabaikan atau dianggap nol karena penelitian dilakukan selama 7 bulan dengan asumsi telah terjadi penambahan dan pengurangan dalam simpanan. Hasil perhitungan luas DTA akan mempunyai satuan m² atau km². Hasil akhir kemudian divalidasi menggunakan nomogram Todd yaitu nomogram hubungan luas DTA, debit dan imbuhan tahunan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Kondisi Imbuhan dan Keluaran (Neraca Air) pada DTA Sistem SBT Pindul

Besarnya curah hujan sangat bervariasi dari bulan Januari hingga Juli 2017. Berdasarkan grafik total curah hujan bulanan DTA Pindul (**Gambar 1**) dapat dikategorikan bahwa bulan Januari hingga Maret tergolong musim penghujan, sedangkan bulan April hingga Juli tergolong musim kemarau. Hal ini sesuai dengan prakiraan musim kemarau oleh BMKG (2017) dimana daerah Gunungkidul bagian utara mengalami musim kemarau mulai bulan April III – Mei II. Curah hujan tertinggi DTA Pindul berada di bulan Maret dengan total curah hujan sekitar 298,6 mm. Curah hujan terendah berada di bulan Mei yaitu sekitar 3,4 mm dengan jumlah hari hujan sebanyak 3 hari. Perbedaan curah hujan setiap bulan disebabkan

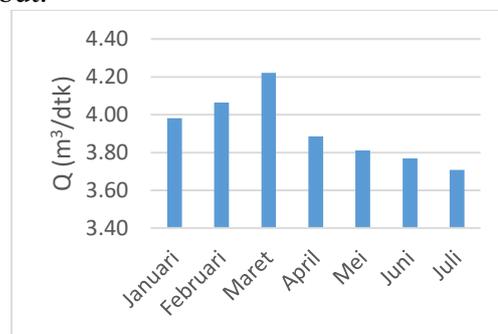
oleh beberapa faktor seperti letak lintang, tinggi tempat, arah angin dan jarak suatu tempat terhadap sumber air.



Gambar 1 Grafik Total Curah Hujan Bulanan DTA Pindul

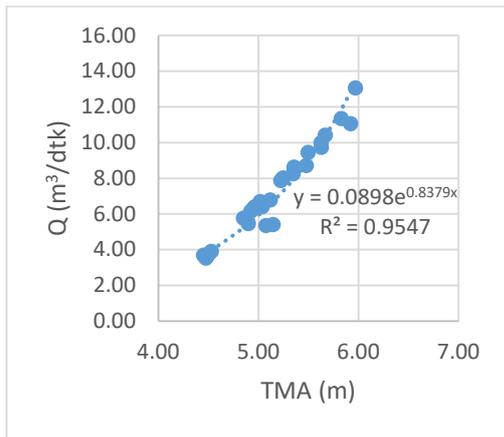
(Sumber: Olahan Data Primer, 2017)

Debit di DTA Pindul dihitung dengan melakukan konversi data tinggi muka air (TMA) menggunakan metode *rating curve* seperti pada **Gambar 3**. DTA Pindul mempunyai debit yang fluktuatif dari bulan Januari hingga Juli 2017 seperti pada **Gambar 2**. Debit puncak selama 7 bulan berada di bulan Maret dengan debit rerata bulanan sebesar 4,22 m³/dtk. Debit terendah berada di bulan Juli dengan debit rerata bulanan sebesar 3,71 m³/dtk. Besar kecilnya debit dipengaruhi oleh *input* yaitu curah hujan yang masuk ke dalam DTA. Perbedaan antara nilai *input* dan *output* dapat disebabkan karena karakteristik unik dari sistem karst itu sendiri. Banyaknya sistem pelorongan bawah tanah menyebabkan curah hujan yang masuk belum tentu keluar sebagai debit pada satu *outlet* tunggal. Perkembangan sistem karst di DTA Pindul dapat menimbulkan lorong-lorong baru di bawah tanah sehingga aliran di dalamnya dapat tersebar mengikuti perkembangan lorong bawah tanah tersebut.



Gambar 2 Grafik Debit Rerata Bulanan DTA Pindul

(Sumber: Olahan Data Primer, 2017)



Gambar 3 Rating Curve DTA Pindul (Sumber: Olahan Data Primer, 2017)

Metode yang digunakan dalam menghitung evapotranspirasi di DTA Pindul adalah metode Blaney-Criddle. Data yang digunakan berupa data suhu yang tercatat di lapangan dengan interval waktu setiap 15 menit, persentase jam siang bulanan, dan data jenis vegetasi yang berkaitan dengan koefisien tanaman. Selama 7 bulan pengukuran, rerata suhu bulanan di DTA Pindul berkisar antara 26°C hingga 27,2°C. Besarnya evapotranspirasi rerata bulanan DTA Pindul selama 7 bulan pengukuran disajikan dalam Tabel 1 dengan nilai berkisar antara 118 mm/bulan hingga 137 mm/bulan.

Tabel 1 Evapotranspirasi Rata-Rata Bulanan DTA Pindul Tahun 2017

No	Bulan	Suhu (°C)	Suhu (°F)	P (%)	Ke	Kt	U (inchi)	U (mm)
1	Januari	26,34	79,40	8,79	0,70	1,06	5,17	131,44
2	Februari	26,56	79,82	7,84	0,70	1,07	4,67	118,68
3	Maret	26,53	79,75	8,51	0,70	1,07	5,06	128,58
4	April	27,23	81,01	8,11	0,70	1,09	5,00	127,05
5	Mei	27,24	81,03	8,23	0,70	1,09	5,08	129,05
6	Juni	27,09	80,76	8,82	0,70	1,08	5,40	137,11
7	Juli	26,01	78,81	8,13	0,70	1,05	4,71	119,61

(Sumber: Olahan Data Primer, 2017)

Tabel 2 Perhitungan Neraca Air Selama 7 Bulan, 6 Bulan, dan 5 Bulan untuk Menentukan Luas DTA

Rincian	5 Bulan	6 Bulan	7 Bulan
Curah Hujan (mm)	741,60	782,60	791,20
Evapotranspirasi (mm)	634,80	771,91	891,52
Temperatur (°C)	26,78	26,83	26,71
TMA rata-rata (m)	4,52	4,51	4,50
Debit rata-rata (m³/dtk)	3,99	3,96	3,92
Volume (m³)	51900125,84	61639838,97	71457519,12
Ro (mm)	442,83	471,39	485,67

(Sumber: Olahan Data Primer, 2017)

Selisih antara curah hujan (P) sebagai *input* utama dengan evapotranspirasi (E) digunakan untuk menentukan besarnya surplus dan defisit. Pengukuran selama 7 bulan menghasilkan jumlah bulan defisit lebih banyak daripada bulan surplus. Surplus berada di bulan-bulan awal yaitu Januari

hingga Maret dengan nilai berkisar antara 70 mm hingga 170 mm, sedangkan defisit berada di bulan April hingga Juli dengan nilai berkisar antara -33 mm hingga -128 mm. Nilai surplus dan defisit dapat digunakan untuk menentukan *run off* di DTA Pindul. Total *run off* yang mempunyai satuan mm dapat digunakan untuk menentukan besarnya luas DTA (m²). Simulasi neraca air dengan jumlah bulan yang berbeda-beda disajikan pada Tabel 2. Hal tersebut dilakukan untuk melihat perbedaan Ro setiap bulannya. Total Ro selama 5 bulan di DTA Pindul sebesar 442,83 mm, selama 6 bulan sebesar 471,39 mm, dan selama 7 bulan sebesar 485,67 mm. Perbedaan nilai Ro dapat disebabkan karena perbedaan intensitas curah hujan setiap bulannya. Selain itu, kondisi topografi, tekstur tanah, kedalaman zona perakaran, dan simpanan permukaan dapat mempengaruhi besarnya *run off* (Ro) di DTA Pindul. Perbedaan nilai Ro tersebut dapat berpengaruh pada besarnya luas DTA Pindul dimana perbandingannya disajikan pada Tabel 3.

2) Luas DTA Sistem SBT Pindul Berdasarkan Perhitungan Neraca Air

Tabel 3 Perbandingan Run off dan Luas DTA Sistem Pindul

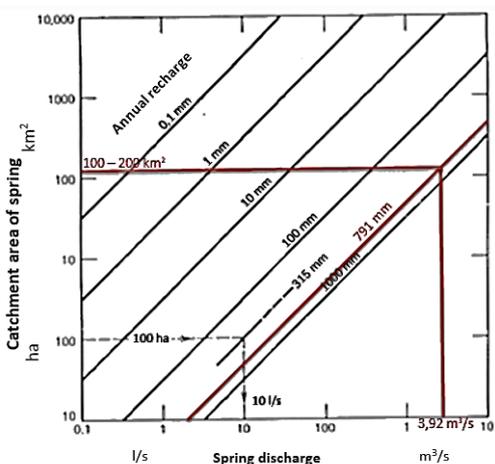
Jumlah Bulan	Ro (mm)	A (km²)
5	442,83	117,20
6	471,39	130,76
7	485,67	147,13

(Sumber: Olahan Data Primer, 2017)

Penelitian ini menggunakan data selama 7 bulan yang dianggap sudah mewakili musim penghujan (titik tertinggi) dan musim kemarau (titik terendah). Penentuan luas DTA Pindul dihitung dan disimulasikan berdasarkan data 5 bulan, 6 bulan, dan 7 bulan. Hasil yang diperoleh yaitu luas DTA Pindul berkisar antara 100 - 200 km². Hal tersebut digunakan untuk membuktikan bahwa luas DTA Pindul berubah setiap bulannya. Perubahan tersebut tidak terlepas dari berubahnya faktor *input* seperti besarnya curah hujan dan evapotranspirasi di DTA Pindul. Selain itu, perubahan luas DTA Pindul juga dipengaruhi oleh besarnya *run off* yang perbandingannya disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar total *run off*, maka semakin besar luas DTA Pindul. Beberapa penelitian yang dilakukan di DTA mataair Grza (timur Serbia) menyebutkan bahwa luas DTA mataair Grza berkisar 30 – 50 km² dan 36,6 – 43,6 km², luasnya mengecil ketika tahun kering dan

membesar ketika tahun basah (Vakanjac et al., 2013). Hal ini membuktikan bahwa curah hujan menjadi faktor penentu luasan DTA.

Luas ini berbeda dengan pendekatan topografi yang telah dilakukan oleh Agniy (2016) dimana luas yang terhitung sebesar 15,44 km². Perbedaan luas tersebut disebabkan karena perbedaan karakteristik antara atas permukaan dan bawah permukaan sistem karst. Karakteristik bawah permukaan sistem karst yang mempunyai banyak cabang sistem pelorongan menyebabkan kondisi hidrologi di bawah permukaan menjadi semakin besar. Cabang-cabang tersebut menjadi tempat masuknya aliran air dari sistem lainnya sehingga *input* di dalam DTA Pindul yang awalnya berasal dari curah hujan, akhirnya bertambah dengan aliran air dari DTA di sekitarnya. Adji (2013) menyebutkan karakteristik sistem karst memungkinkan terjadinya “kebocoran” air keluar ataupun masuk melewati batas DAS. Kebocoran tersebut akan berpengaruh pada meningkatnya volume DTA yang berbanding lurus dengan meningkatnya luasan daerah tangkapan air.



Gambar 4 Nomogram hubungan debit, imbuhan dan luas DTA Pindul (Sumber: Olahan Data Primer, 2017)

Nomogram tersebut digunakan untuk melakukan validasi hasil perhitungan luas DTA Pindul menggunakan pendekatan neraca air. Berdasarkan nomogram Todd pada **Gambar 4** diperoleh luas DTA Pindul sebesar 100 – 200 km². Hasil tersebut diperoleh dari hubungan antara debit rata-rata selama 7 bulan sebesar 3,92 m³/s dengan total curah hujan selama 7 bulan sebesar 791,2 mm. Luas DTA Pindul berdasarkan nomogram Todd tidak jauh berbeda dengan hasil perhitungan neraca air yaitu 147,13 km². Luas

tersebut jauh berbeda dengan pendekatan topografi dimana luas yang didapatkan sebesar 15,44 km². Hal ini menjadi pertimbangan bahwa pendekatan topografi dalam menentukan luas DTA Pindul perlu dikaji ulang dengan cara membatasi ulang daerah tangkapan air baik berdasarkan kondisi geomorfologi maupun hidrologi permukaannya. Perlu validasi ulang terhadap ponor-ponor di luar DTA Pindul yang diasumsikan sebagai tempat masuknya aliran air ke bawah permukaan dan sebagai faktor penyumbang besarnya volume air di DTA Pindul.

Perbedaan luas DTA antara metode neraca air dan pendekatan topografi juga terjadi pada beberapa penelitian di kawasan karst lainnya. DTA mataair Krčić yang berada di kawasan karst Dinaric, Kroasia mempunyai luas sebesar 135 km² berdasarkan data presipitasi dan volume mataair. Luas berdasarkan pendekatan topografi yaitu 35 km² yang artinya sebesar 100 km² berada di luar DTA topografi tersebut (Bonacci et al., 2006). DTA mataair Zrnovnica yang juga berada di kawasan karst Dinaric, Kroasia mempunyai luas sebesar 8,4 km² berdasarkan pendekatan topografi, sedangkan berdasarkan hidrogeologinya sebesar 68,52 km². Perhitungan tersebut didasarkan pada metode Turc yang menghitung luas DTA berdasarkan data suhu, presipitasi, *run off*, defisit dan debit air (Bonacci dan Andric, 2015). Berdasarkan hidrogeologinya luas DTA mataair Zrnovnica delapan kali lebih besar daripada luas DTA berdasarkan pendekatan topografi. Dari perhitungan neraca air untuk menentukan luas DTA Pindul ditambah beberapa bukti penelitian di kawasan karst lainnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa penentuan luas DTA pada kawasan karst dengan beberapa metode yang berbeda hasilnya tidak selalu sama.

Metode neraca air dalam menentukan luas DTA di kawasan karst lebih akurat daripada penentuan luas DTA menggunakan pendekatan topografi. Hal ini dikarenakan metode neraca air mempertimbangkan faktor bawah permukaan (hidrogeologi) dimana faktor tersebut sangat penting mengingat kawasan karst mempunyai karakteristik yang khas daripada kawasan lainnya. Namun, perlu diketahui bahwa penentuan luas DTA menggunakan metode neraca air memerlukan data yang akurat seperti data iklim dimana persebaran alatnya harus dapat mewakili seluruh DTA. Pengetahuan mengenai hidrogeologi dan luas DTA pada mataair atau sungai yang terbentuk di kawasan karst sangat penting, tidak hanya sebagai

parameter keseimbangan air tetapi juga untuk tujuan perlindungan karena sejatinya air di kawasan karst lebih rentan daripada air di kawasan lainnya (Bonacci dan Andric, 2015 dalam Vakanjac et al., 2016).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengukuran selama 7 bulan menghasilkan jumlah bulan defisit lebih banyak daripada bulan surplus. Kondisi surplus terjadi antara bulan Januari hingga Maret dengan nilai berkisar antara 70 mm hingga 170 mm, sedangkan kondisi defisit terjadi antara bulan April hingga Juli dengan nilai berkisar antara -33 mm hingga -128 mm. Curah hujan dan debit memiliki titik tertinggi di bulan Maret yaitu 298,6 mm dan 4,22 m³/s. Titik terendah berada di bulan Mei sebesar 3,4 mm untuk data curah hujan dan bulan Juli sebesar 3,71 m³/s untuk data debit air. Nilai surplus dan defisit dapat digunakan untuk menentukan *run off* di DTA Pindul. Total Ro selama 5 bulan di DTA Pindul sebesar 442,83 mm, selama 6 bulan sebesar 471,39 mm, dan selama 7 bulan sebesar 485,67 mm. Perbedaan besarnya *run off* akan mempengaruhi besarnya luas DTA Pindul.
2. Luas DTA sistem SBT Pindul disimulasikan berdasarkan data 5 bulan, 6 bulan, dan 7 bulan menggunakan metode neraca air. Hasil yang diperoleh yaitu luas DTA Pindul berkisar antara 100 - 200 km² dengan perkiraan luas selama 7 bulan pengukuran sebesar 147,13 km². Perbedaan luas DTA Pindul menggunakan metode neraca air dan pendekatan topografi disebabkan karena karakteristik bawah permukaan sistem karst yang mempunyai banyak cabang sistem pelorongan. Cabang tersebut memungkinkan terjadinya “kebocoran” air keluar ataupun masuk melewati batas DTA sehingga dapat berpengaruh pada meningkatnya luasan DTA.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N. (2013). Kondisi Daerah Tangkapan Sungai Bawah Tanah Karst Gunungsewu dan Kemungkinan Dampak Lingkungannya Terhadap Sumberdaya Air (Hidrologis) karena Aktivitas Manusia. *Seri Bunga Rampai Ekologi Lingkungan Kawasan Karst Indonesia*. Yogyakarta: Deepublish.
- Agniy, R. F. (2016). Kajian Hidrogeologi Karst Sistem Gua Pindul, Kecamatan Karangmojo, Kabupaten Gunungkidul. *Skripsi*. Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Asdak, C. (2002). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2017). *Prakiraan Musim Kemarau 2017 di Indonesia*. Jakarta: BMKG.
- Bonacci, O., Jukić, D., dan Ijubenkov, I. (2006). Definition of Catchment Area in Karst: Case of The Rivers Krčić and Krka, Croatia. *Hydrological Sciences Journal* Vol. 51 No. 4 hal: 682 – 699.
- Bonacci, O., dan Andric, I. (2015). Karst Spring Catchment: An Example From Dinaric Karst. *Environmental Earth Sciences* Vol. 74 No. 7 hal: 6211 – 6223.
- Ford, D., dan Williams, P. (2007). *Karst Geomorphology and Hydrology*. West Sussex: John Wiley and Sons, Inc.
- Vakanjac, V. R., Prohaska, S., Polomcic, D., Blagojevic, B., dan Vakanjac, B. (2013). Karst Aquifer Average Catchment Area Assessment Through Monthly Water Balance Equation with Limited Meteorological Data Set: Application to Grza Spring in Eastern Serbia. *Acta Carsologica* Vol. 42 No. 1 hal: 109 - 119.
- Vakanjac, V. R., Marinović, V., Nikić, Z., Polomčić, D., Ilić, M. C., dan Bajić, D. (2016). Verification of Catchment Size Using The Water Balance Equation. *Third Congress of Geologists of Republic of Macedonia*. 30 September – 2 Oktober 2016. Macedonian Geological Society dan Gocve Delchev, Universitas Shtip.